

振动时效在卷筒体焊后消应力中的应用

朱政强, 葛景国, 饶德林, 陈立功

(上海交通大学 材料科学与工程学院, 上海 200030)



朱政强

摘 要: 对卷筒体进行了振动时效处理。在振动时效前后通过对卷筒体进行盲孔法残余应力的对比测量, 以及振动过程中对振动动应力的测量, 全面、定量地了解振动时效工艺过程的应力状况、残余应力的变化及最终的应力状况。试验结果表明振动时效可以有有效的消除卷筒体的残余应力, 且不会影响筒体的疲劳寿命。

关键词: 振动时效; 卷筒体; 残余应力; 动应力

中图分类号: TH113.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2003)06-66-03

0 序 言

振动时效 (Vibratory stress relief, 简称 VSR) 是一种常温时效工艺, 相对热时效工艺有效果好、节能、设备投入少、周期短、操作简单、无污染、不受生产场地限制等优点, 故正在迅速地普及推广开来。从早期应用于铸铁构件开始, 到中低碳钢焊接件, 至今已在合金结构钢、不锈钢及铝合金等材料的铸、锻、焊构件上均取得了成功^[1~3]。它使金属结构的焊接残余应力峰值降低, 分布均化, 提高构件的尺寸稳定性。因此, 振动时效可以替代以尺寸稳定性为目标的热时效。文中采用振动时效工艺替代传统的热时效消除卷筒体的内应力, 以防止卷筒体在使用过程中由于焊接残余应力的释放造成局部变形从而影响使用性能。

起重机卷筒体是对焊接残余应力和疲劳寿命有很高的要求的大型设备。文中采用的是由上海振华港口机械有限公司生产的卷筒体, 形状见图 1。该卷筒体由三节冷卷卷筒、四块辐板和一个轴头焊接

而成, 采用埋弧自动焊加工生产而成。为了有效的消除焊后残余应力, 提高生产效率, 降低生产成本, 研究振动时效在卷筒体中的消应力效果, 以及为振动时效工艺在大型工程中的推广应用具有十分重要的现实意义。

1 试验方法

1.1 盲孔法测量残余应力

根据卷筒体形状和确定的振动方案, 选取 22 个典型测点 (振前 11 个, 振后 11 个) 进行测量, 为了有效对比振前和振后的残余应力值, 两测点相距 5 ~ 10 mm, 测点布局参见图 2。在应力场测点的三向应变花上钻一个直径 $D=2.0$ mm, 深度 $H=2.0$ mm 的盲孔, 使得构件中残余应力得以松弛, 从而通过记录应变片各向应变, 计算出应力。



图 1 卷筒体的形状

Fig. 1 Shape of drum



图 2 残余应力测点 (上为振前测点, 下为振后测点)

Fig. 2 Measure point of residual stress

(above point: before VSR, nether point: after VSR)

1.2 振动工艺方案

作者结合卷筒体形状和振动设备技术条件,确定了以下两种振动方式:鼓型振动和扭曲振动。支撑点确定在二端筒节的环角焊缝和环焊缝的中间,工件放在 V 型托架的橡胶垫块之上。鼓型振动激励器固定在无轴辐板上,扭曲振动激励器固定在筒体上。动应力作为振动时效的最重要的因素^[4],试验应用上海交通大学焊接研究所开发的动应力评估技术对卷筒体振动的动应力进行测量和评估。

2 试验结果及分析

2.1 残余应力的测试结果及分析

对卷筒体的环焊缝和筒体一幅板角焊缝的振动前后的残余应力分别进行了测量,测量结果见图 3 和图 4。

缝,由于焊缝较长,焊接后残余应力水平比较高。由图 3 和图 4 的测量结果表明,经过振动时效,卷筒体的残余应力 σ_{\max} 平均值下降量为 49%;剪应力 τ 平均值下降量为 66%;焊缝纵向应力 $\sigma(0^\circ)$ 下降量为 35%,焊缝横向应力 $\sigma(90^\circ)$ 下降量为 33%。相反筒体的最小主应力 σ_{\min} 有所提高,升高量为 125%。这说明经过 VSR 工艺后的残余应力明显下降,应力分布得到一定程度上的均化,构件的稳定性和抗变形能力得到提高。测量结果定量地表明了 VSR 工艺已达到使残余应力水平下降量大于 30%的技术要求^[4]。

2.2 动应力分析

由于所应用的振动时效设备辐射干扰大,以及加速度动传感器与应变仪存在共地冲突,影响了试验动应力的测量。动应力曲线见图 5。

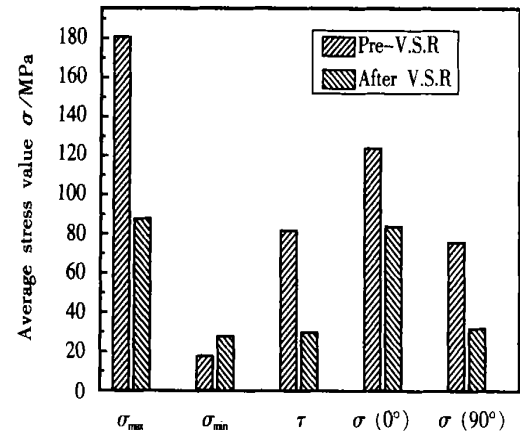


图 3 筒体环焊缝振动前后的平均残余应力对比
Fig. 3 Comparison of average residual stress of drum girth weld between before VSR and after VSR

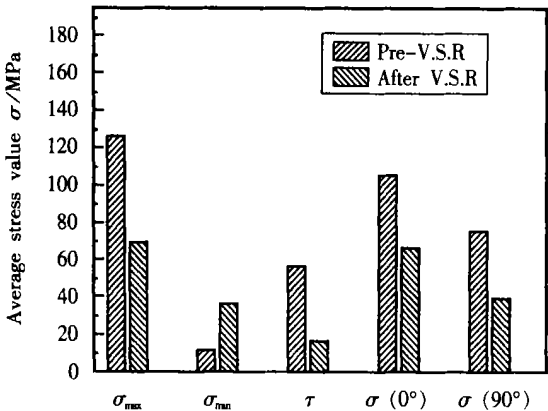


图 4 筒体一幅板角焊缝振动前后的平均残余应力对比
Fig. 4 Comparison of average residual stress of drum shell to web fillet welds between before VSR and after VSR

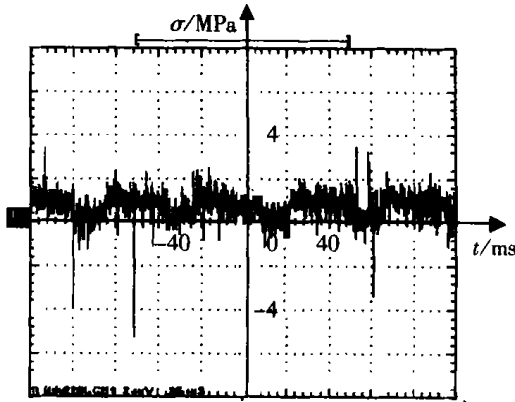


图 5 卷筒体 VSR 工艺动应力曲线
Fig. 5 Dynamic stress curve of drum's VSR process

由图 5 动应力曲线可以观察到动应力的瞬态值,并根据波形的包络线获得动应力的动态测量电压幅值,通过灵敏度换算及线弹性应力应变计算,求得动应力值。对卷筒体 18 个点的动应力测量,动应力幅值仅为 4~10 MPa。一般认为当动应力大于 10 MPa 时才可以获得消应力效果;试验在对于构件刚性大,振动动应力低的情况下,如何取得满意的消应力效果进行了有效的探索。试验表明在低动应力条件下通过长时间的振动处理,也可以获得满意的消应力效果。同时,由于动应力水平较低,可以认为对工件疲劳寿命没有影响,相反由于残余应力的均化反而对构件的疲劳寿命有利^[5]。由于目前尚无标准化的振动时效效果的动应力评定方法,因此试验根据上海交通大学提出的 DH-CP 经验方程^[6]计算:在动应力为 4~10 MPa 条件下,振动为 100 万~200 万次,其残余应力下降量可以达到 40~70 MPa。这个理论计算下降幅度与最大主应力及纵向残余应力实测下降幅度基本一致(70~40 MPa)。

卷筒体环焊缝和筒体一幅板角焊缝均为后期焊

图 6 是应用上海交通大学 DH—CP 经验方程, 对低动应力消应力效果的估计曲线。

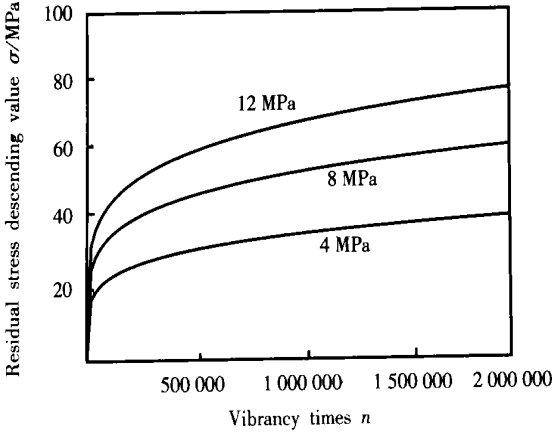


图 6 应用 DH—CP 经验方程, 对低动应力消应力效果的估计曲线

Fig. 6 Predicting curves used by DH—CP experience equation

3 结 论

(1) 应用盲孔法进行残余应力测量, 经过振动时效卷筒体的最大残余应力 σ_{\max} 平均值下降量为

49%, 说明该工艺有效。

(2) 应用动应力判据进行工艺效果评定, 当动应力为 4~10 MPa 条件下, 采用长时间振动, 可以获得残余应力下降量为 40~70 MPa 的效果, 再次说明振动时效工艺效果有效。

参考文献:

[1] 许 隼 李庆本. 振动时效的振动力学分析[J]. 焊接学报, 2000, 21(1): 79~82.
[2] Dawson R, Moffat D G. Vibratory stress relief: a fundamental study of its effectiveness [J]. Journal of Eng. Mate and Tech, 1980, 102(3): 169~176.
[3] 黎岳伟. 振动时效工艺在大型储罐消应力中的作用[J]. 广西机械. 2002, (2): 47~48.
[4] JB/T 5926—91 中华人民共和国机械行业标准《振动时效工艺参数选择及技术要求》[S]. 1991.
[5] 房德馨, 孙丰华. 低应力预处理对焊接接头疲劳寿命影响规律的试验研究[J]. 大连理工大学报, 1993, 33(6): 647~650.
[6] 陈立功, 倪纯珍, 姚 舜, 等. 振动时效效果动应力判据的数学建模方法[J]. 焊接学报, 1999, 20(增刊): 103~107.

作者简介: 朱政强, 男, 1976 年 9 月出生, 博士研究生。主要从事焊接结构应力的释放和在线测量方面的研究, 已经发表论文 4 篇。

Email: zhuzhq01@sjtu.edu.cn

[上接第 62 页]

(2) 钎料无点腐蚀迹象。

(3) 在钎料—不锈钢电偶中, 钎料为阴极而被保护; 在钎料—钛合金电偶中, 钎料为阳极而将加速腐蚀, 耦合电流密度约为 $1.5 \times 10^{-1} \mu\text{A}/\text{cm}^2$, 电偶腐蚀的敏感性不大。

参考文献:

[1] Peaslee R L. Brazing: Yesterday's art has become today's science [J]. Welding Journal, 1992, (9): 25~31.
[2] 吴杰峰, 许字富, 高大明, 等. 真空钎焊在超导装置 TU1—SUS304L 接头中的应用[J]. 焊接, 2001, (10): 27~29.

[3] 王国保. 加速器束流钛窗的钎焊[J]. 焊接, 1990(4): 8~10.
[4] 美国金属学会. 金属手册第六卷[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992. 1300~1378.
[5] Andrew Cullion. Dissimilar materials joined by brazing[J]. J. Welding, 1999, (1): 49~50.
[6] 陶春虎. 航空用钛合金的失效及其预防[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.
[7] 赵麦群, 雷阿丽. 金属的腐蚀与防护[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.

作者简介: 杨 静, 男, 1967 年 8 月出生, 工程硕士, 副研究员。现主要从事核动力异种金属连接技术研究。已发表论文 4 篇。

Email: fmk1@npic.ac.cn

《焊接学报》被《E I》收录的论文目次

2003 年第 3 期

TiB ₂ 金属陶瓷/TiAl 钎焊连接接头应力的数值模拟	李卓然 等
一种基于空间矢量调制的弧焊逆变电源 PFC 控制方法	黄继强 等
Ti—5Al—4Sn—2Zr—1Mo—0.25Si—1Nd 合金焊接性	郝传勇 等
X65 管线钢焊接接头 CTOD 断裂韧度	邓彩艳 等
20Mn2 钢晶粒超细化及性能	雷 毅 等
LY12 铝合金中温钎焊技术	薛松柏 等
Nd YAG CW 激光热传导焊	秦国梁 等
热点应力有限元分析的主要因素	贾法勇 等